

ИК-спектрометрическое определение неуглеводородной смазочно-охлаждающей жидкости в сжатом технологическом воздухе

***З.А. Темердашев, И.А. Колычев, Ю.А. Иванова**

Кубанский государственный университет,
350040, Российская Федерация, Краснодар, ул. Ставропольская, 149

*Адрес для переписки: Темердашев Зауаль Ахлоович, E-mail: temza@kubsu.ru

Поступила в редакцию 29 января 2018 г., после исправления – 20 февраля 2018 г.

В работе рассмотрены аналитические проблемы, связанные с определением масел в аппаратном сжатом воздухе. Анализируются достоинства и недостатки существующих методов определения углеводородных масел в сжатом воздухе, включая стандартизированные. Показано, что осуществляемый, на сегодняшний день, периодический контроль за содержанием масла в воздухе не в полной мере отвечает экологическим и производственным требованиям. На примере анализа методик определения масел, допущенных для производственного экологического контроля и мониторинга, рассматриваются области их применимости. Показано, что в условиях использования в современных компрессорах сжатого воздуха вместо классического масла неуглеводородных синтетических охлаждающих жидкостей (НСОЖ) на основе эфиров высокоатомных спиртов – полиалкиленгликолей существующая база аналитических методик требует существенной актуализации, т.к. они не учитывают специфику химического состава НСОЖ. Обоснована и реализована аналитическая схема, позволяющая определять НСОЖ в сжатом воздухе на уровне ПДК. На основе проведенных ИК-спектроскопических исследований НСОЖ разработана оригинальная методика ее определения при 1100 см^{-1} , позволяющая проводить измерения без остановки технологической установки. Предложенная схема определения НСОЖ в сжатом технологическом воздухе существенно сокращает время анализа, пределы обнаружения и количественного определения НСОЖ при 1100 см^{-1} составили 70 и 139 мг/л, соответственно. Изучены особенности отбора проб сжатого воздуха с использованием различных типов фильтров (фильтры «белая лента», «синяя лента» и АФА-ХА). Наиболее эффективными при осуществлении пробоотбора является фильтр АФА-ХА, с использованием которого потери анализа минимальны. Предложенная схема определения была апробирована на реальном объекте.

Ключевые слова: неуглеводородная смазочно-охлаждающая жидкость, сжатый воздух, ИК-спектрометрия, пробоотбор.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2018, vol. 22, no. 1, pp. 61-68

DOI: 10.15826/analitika.2018.22.1.007

IR spectrometric determination of non-hydrocarbon lubricating-cooling liquid in compressed process air

***Z.A. Temerdashev, I.A. Kolychev, Yu.A. Ivanova**

Kuban State University, 350040, Russian Federation, Krasnodar, Stavropol'skaya street, 149

Corresponding author: Zauval' A. Temerdashev, E-mail: temza@kubsu.ru

Submitted 29 January 2018, received in revised form 20 February 2018

In the current research article, analytical problems related to the determination of oils in compressed air were considered. The advantages and disadvantages of existing methods for the determination of hydrocarbon oils in compressed air, including the standardized ones, were analyzed. It was shown that the current periodic monitoring of the oil content in the air does not fully meet the environmental and production requirements. Using the examples of analyses of methods approved for determining the oils in the industrial environmental control and monitoring, the areas of their applicability were considered. It was shown that

under the conditions of use in modern compressors of the compressed air instead of the classical oil of non-hydrocarbon synthetic cooling liquids based on ethers of high-alcoholic alcohols - polyalkylene glycols (NSCL), the existing base of analytical techniques requires substantial actualization as they do not take into account the specificity of the chemical composition of NSCL. The analytical scheme allowing for the determination of NSCL in compressed air at the MPC level was realized and implemented. Based on the IR-spectroscopic studies of NSCL, an original method for its determination at 1100 cm^{-1} was developed, which made it possible to carry out the measurements without stopping the process unit. The proposed scheme for determining NSCL in compressed process air significantly reduced the analysis time, the limits of detection and the quantification of NSCL at 1100 cm^{-1} which were 70 and 139 mg/l , respectively. The features of sampling the compressed air using various types of filters (filters "white tape", "blue tape" and AFA-HA) were studied. The most effective sampling instrument was the AFA-HA filter, with which the analyte loss was minimal. The proposed methodology was tested on a real object.

Key words: non-hydrocarbon lubricating-cooling liquid, compressed air, IR-spectrometry, sampling.

ВВЕДЕНИЕ

В пневмоприводах различных технологических установок, предусматривающих запас и передачу механической энергии, а также сушку, охлаждение и продувку оборудования, в современной промышленности широко используется сжатый воздух, который в процессе получения и применения проходит цепочку: атмосфера – компрессор – пневмомагистраль – потребитель. Процедура сжатия воздуха сопровождается загрязнениями водой (в жидком состоянии) и маслом. Загрязнение воздуха маслом существенно зависит от конструкции, качества и состояния компрессора. Промышленные компрессоры, чаще всего, относятся к масляному типу. В них часть масла смешивается с воздухом, проходящим через компрессор. Концентрация масла в воздухе на выходе современного винтового компрессора составляет примерно $3\text{--}5\text{ мг/м}^3$, а в поршневых компрессорах она достигает 50 мг/м^3 . При сжатии воздух нагревается до температуры выше $100\text{ }^\circ\text{C}$, что вызывает интенсивное испарение масла, предельное содержание паров компрессорного масла при $80\text{ }^\circ\text{C}$ составляет от 60 до 100 мг/кг . Нормативными документами содержание масел в аппаратном сжатом воздухе допускается в пределах $0.01\text{--}5\text{ мг/м}^3$ [1]. В случае попадания масла в сеть сжатого воздуха требуются для его удаления большие материальные затраты, связанные с последствиями, возникающими при попадании, накоплении и конденсации паров смазочных жидкостей на деталях механизмов. Часто присутствие масла замечают тогда, когда его видно невооруженным глазом, поэтому для надежной бесперебойной работы технологических установок требуется осуществлять своевременный контроль качества аппаратного сжатого воздуха на наличие в нём масел.

Самым простым и доступным способом определения масел в воздухе является использование различных индикаторных трубок, меняющих свой цвет в зависимости от концентрации масел в воздухе [2-3]. В случаях, когда требуется количественная оценка содержания масла в воздухе, чаще всего применяют люминесцентные [5], хроматографические [6-12] и спектрофотометрические методы анализа [13-19].

Одной из лимитирующих стадий определения масел в сжатом воздухе является пробоотбор. На данной стадии для отбора аэрозолей масел из воздуха обычно используют различные пробоотборные устройства, сочетающие в себе комбинацию фильтров и сорбционных трубок. После отбора проб проводят экстракцию аналита различными растворителями: смесь пиридина и диэтиламина, дихлорметана и метанола, циклогексаном и другими экстрагентами с помощью аппарата Сокслета, микроволнового облучения или ультразвука. В качестве сорбентов применяют пенополиуретан [20], углеродный адсорбент карбопак С [21], химический адсорбент XAD-2, представляющий собой гидрофобную сшитую полистирольную сополимерную смолу [22], бумажные фильтры [13] и другие. В работе [9] авторами проведен подробный анализ, рассмотрены потери при отборе проб аэрозолей масел и причины их возникновения.

Отдельной и немаловажной проблемой является определение в воздухе присадок, содержащихся в маслах, т.к. многие из них в результате термической деструкции в процессе эксплуатации могут приобретать токсичные свойства. В качестве таковых можно назвать триарилфосфаты, триарилфорофосфаты, триалкиламины, триарильные органофосфаты и др. [6-7]. При определении присадок используют различные методы анализа, их выбор определяют цели проводимого анализа. Для анализа масла на присутствие заявленных присадок в их составе необходимость в высокой чувствительности отсутствует, такой анализ нуждается в экспрессности. С другой стороны, если анализ проводят с целью экологического мониторинга, который необходим вследствие частичной деструкции некоторых присадок и приобретения токсичных свойств маслом, то анализ должен обладать высокой чувствительностью, обеспечивающей необходимый уровень определений аналита. Так, например, в работе [6] проводят газохроматографическое определение присадок – триарилфосфатов и триарилфорофосфатов в воздухе рабочей зоны, применяющихся в гидравлических жидкостях. Авторами [7] предложен метод хромато-масс-спектрометрического (ГХ-МС) определения аэрозоля гидравлического масла в воздухе путем детектирования

триалкиламинов и триарильных органофосфатов, используемых в качестве противообледенительных и высокооктановых присадок в масле. Изучены различные комбинации адсорбентов (Anasorb 747 – активный углерод, полученный из сырья с низким содержанием золы, Anasorb CSC – сорбент на основе древесного угля кокосового ореха, сорбенты на основе сшитого полистирола Хромосорб 106, ХАД–2 и силикагель) в кассетах из стекловолокна или политетрафторэтиленовых (ПТФЭ) фильтров и различных растворителей для экстракции (сероуглерод, сероуглерод – диметилформамид (50 : 1), толуол, дихлорметан, метил-, *трет* –бутиловый эфир и метанол) для оптимизации условий пробоподготовки [7]. Из этих систем лучшие результаты показало сочетание сорбента Хромосорб 106 с фильтром из стекловолокна и дихлорметана в качестве растворителя [7]. Авторами [8] описаны различные способы отбора проб воздуха для определения органических соединений в сжатом воздухе методом ГХ–МС. Перспективным методом определения полимерных присадок, по мнению авторов [10–12], является эксклюзионная или гель-проникающая хроматография с рефрактометрическим детектированием. Данный метод использован при определении беззольного диспергатора полибутенсукцимида на колонке флорисил [10–11] и детергент-диспергирующих присадок в бензине [12].

Для контроля содержания масел в сжатом воздухе наиболее часто используются спектральные методы [13–19], которые обеспечивают достаточную селективность и относительную простоту приборного оформления. Кроме определения базовых компонентов масел спектральными методами анализа возможно определение функциональных присадок по данным элементного анализа. Известны методики атомно-абсорбционного [15–17] и атомно-эмиссионного анализа [18], а также ИК-спектроскопии [14, 19], которые используют для определения суммарного содержания металлов, фосфора, серы и хлора в образцах масел. Существенным недостатком этих методик можно назвать их невысокую чувствительность, большие потери анализа на стадии пробоотбора, а также длительность анализа. В последнее время в современных компрессорах сжатого воздуха вместо классического масла применяют неуглеводородные синтетические охлаждающие жидкости на основе эфиров высокоатомных спиртов – полиалкиленгликолей (**НСОЖ**), которые обладают высоким индексом вязкости, большей экологической безопасностью, отсутствием нагаров и твердых отложений (лаков) в процессе эксплуатации. НСОЖ в своем составе, как правило, может включать полипропиленгликоль, сложные эфиры одноосновных кислот и пентаэритрита и антиокислительную присадку (ароматические амины) [23]. Химический состав этих НСОЖ существенно отличается от состава традиционно применяемых масел, поэтому

возникает проблема их контроля в сжатом воздухе. На данный момент в литературе практически отсутствуют данные о методиках определения НСОЖ.

Целью настоящей работы являлась разработка аналитической схемы определения неуглеводородных смазочно-охлаждающих жидкостей на основе эфиров высокоатомных спиртов – полиалкиленгликолей в сжатом технологическом воздухе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Средства измерения, вспомогательные материалы, реактивы

Для проведения экспериментальных исследований использовали следующие реактивы: четыреххлористый углерод квалификации «х.ч.», гексан «ос.ч.» («Криохром», Россия), образцы свежей и отобранной из компрессора сжатого воздуха НСОЖ Ingersoll Rand Ultra Coolant (производство компании «Ingersoll Rand») на основе эфиров высокоатомных спиртов полиалкиленгликолей.

Оптимизацию условий пробоотбора проводили с применением фильтров «белая лента», «синяя лента», используемых для отбора паров и аэрозолей масел в стандартных методиках, и фильтр АФА–ХА, т.к. он способен собирать частицы аэрозолей.

ИК-спектроскопические исследования образцов проводили на Фурье-спектрометре IR-Prestige-21 «SHIMADZU» с использованием кюветы из КВг толщиной 0,1 мм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оптимизация условий пробоотбора

Выбор растворителя. При выборе оптимального сочетания фильтра и растворителя важными характеристиками являются растворимость и высокая степень экстракции с фильтра изучаемой НСОЖ. Для выбора оптимального растворителя изучена растворимость исследуемого НСОЖ в воде, ацетонитриле, этаноле, ацетоне, гексане и четыреххлористом углероде. Полученные данные сведены в табл. 1.

Как видно, наибольшая растворимость НСОЖ наблюдается в четыреххлористом углероде и гексане. С другой стороны, выбранный растворитель

Таблица 1

Растворимость НСОЖ в различных растворителях

Table 1

Solubility of NSCL in various solvents

Растворитель	Растворимость, г/мл
Вода	0.004
Ацетонитрил	0.108
Этанол	0.074
Ацетон	0.145
Гексан	0.620
Четыреххлористый углерод	0.435

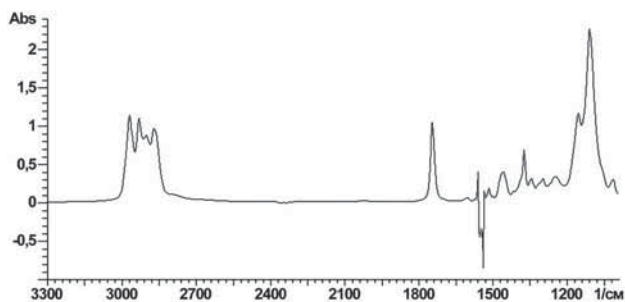


Рис. 1. ИК-спектр НСОЖ

Fig. 1. IR spectrum of NSCL

не должен мешать применяемому методу детектирования аналита. В стандартизованных методиках определения масел в сжатом воздухе [14] в качестве растворителя используется четыреххлористый углерод с учетом того, что из-за отсутствия в нем С–Н связи он не мешает определению аналита методом ИК-спектроскопии.

Были проведены ИК-спектроскопические исследования НСОЖ и чистого растворителя в диапазоне длин волн $900\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ (рис. 1). Из полученных спектров видно, что для НСОЖ наблюдаются два характерных максимума поглощения – при 2925 и 1100 см^{-1} . Нормативными документами для классических масел детектирование аналита регламентируется проводить при 2925 см^{-1} . В отличие от этих масел на ИК-спектре НСОЖ наблюдался характерный дуплет при 1100 см^{-1} , неспецифичный для классических масел и принадлежащий первичным спиртам, простым и сложным эфирам, составляющим основу НСОЖ [24]. Как видно из рис. 2, четыреххлористый углерод при 2925 и 1100 см^{-1} поглощения не имеет, что позволяет применить его в качестве растворителя.

Выбор концентрирующего фильтра. Для изучения способности фильтра концентрировать пары и аэрозоли НСОЖ была собрана установка, представленная на рис. 3. Образец НСОЖ помещали в колбу Рихтера 1, установленную в водяную баню 2, с помощью которой регулировали температуру, а пары НСОЖ концентрировали на фильтродержателе 3 с соответствующим фильтром. Скорость прокачки воздуха через фильтродержатель регулировали аспиратором. Для установления факта проскока между аспиратором и фильтро-

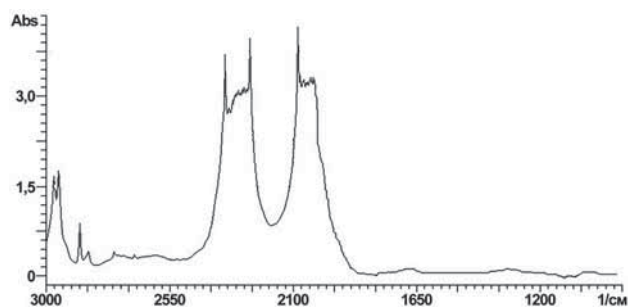


Рис. 2. ИК-спектр четыреххлористого углерода

Fig. 2. IR spectrum of carbon tetrachloride

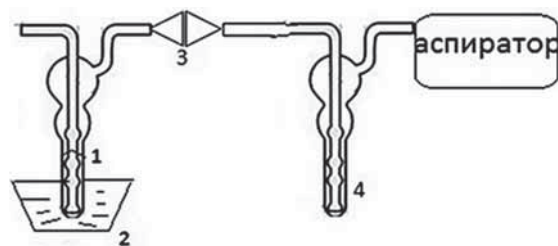


Рис. 3. Экспериментальная установка для концентрирования НСОЖ с использованием различных фильтров: 1 – колба Рихтера с НСОЖ; 2 – водяная баня; 3 – фильтродержатель с фильтром; 4 – колба Рихтера с четыреххлористым углеродом

Fig. 3. Experimental setup for NSCL concentrating using different filters: 1 – Richter flask with NSCL; 2 – water bath; 3 – filter holder with filter; 4 – Richter flask with carbon tetrachloride

держателем помещали заполненную 10 мл четыреххлористого углерода вторую колбу Рихтера 4, в которой улавливалась избыточная НСОЖ. Экстракцию НСОЖ с фильтра проводили 5 мл растворителя. Затем концентрацию НСОЖ в экстракте и четыреххлористом углероде после фильтродержателя определяли ИК-спектроскопически. В качестве фильтров нами изучались фильтры белая и синяя лента, а также широко применяемый для отбора воздушных проб фильтр АФА-ХА. С использованием испытуемых фильтров воздух аспирировали через данную установку в течение 120 минут при скорости прокачки $0,2\text{ л/мин}$. Периодически, через каждые 10 минут, проводили контроль содержания НСОЖ, сорбируемой четыреххлористым углеродом в колбе Рихтера 4, для установления времени ее проскока. Для фильтров белая лента, синяя лента проскок НСОЖ наблюдается уже через 10 минут, а для фильтра АФА-ХА – после 50 минут аспирирования. Оптимизацию времени экстракции НСОЖ с фильтра четыреххлористым углеродом осуществляли в ультразвуковой бане, которую использовали для интенсификации извлечения аналита. Стабилизация содержания НСОЖ в растворителе наблюдается по истечении 10 минут (рис. 4), поэтому данный временной интервал мы определили оптимальным. Для установления полноты сорбции и экстракции НСОЖ полученный с исследуемого фильтра экстракт анализировали ИК-спек-

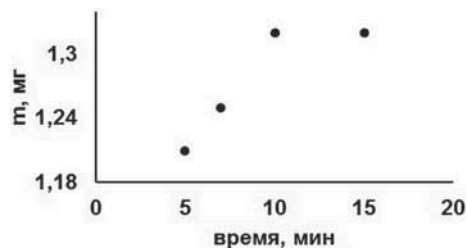


Рис. 4. Зависимость концентрации НСОЖ от времени его экстракции с фильтра АФА-ХА

Fig. 4. Dependence of NSCL concentration on its extraction time from the AFA-HA filter

Таблица 2

Эффективность фильтра при концентрировании НСОЖ (после 10 минут аспирирования)

Table 2

Effectiveness of the filter when NSCL is concentrated (after 10 minutes of aspiration)

Фильтр	$C_{1\text{НСОЖ}}$ в экстракте, мг/мл	$C_{2\text{НСОЖ}}$ в растворе, мг/мл	$\Sigma C_1 + C_2$
Белая лента	0.15 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.36 ± 0.03
Синяя лента	0.22 ± 0.02	0.14 ± 0.03	0.36 ± 0.05
Синяя лента, смоченная CCl_4	0.23 ± 0.03	0.11 ± 0.05	0.34 ± 0.08
АФА-ХА	0.37 ± 0.01	Ниже предела обнаружения	0.37 ± 0.01

трометрически. Наибольшую эффективность из всех исследуемых фильтров показал фильтр АФА-ХА, на котором потери НСОЖ находились на уровне фонового сигнала (табл. 2).

Немаловажным фактором при отборе проб является емкость применяемого фильтра, которую мы устанавливали с использованием вышеописанной экспериментальной установки. Для этого через исследуемые фильтры аспирировали воздух объемом 20 л, концентрацию НСОЖ на фильтре измеряли с шагом 2 л. Из всех изученных фильтров емкость оказалась максимальной для фильтра АФА-ХА, которая составила 2 мг (рис. 5). С учетом нормативов содержания масел в сжатом технологическом воздухе и чувствительности способа детектирования аналита (ИК-спектрометрия) можно заключить, что установленная емкость фильтра АФА-ХА является достаточной для определения НСОЖ.

Для обеспечения корректных ИК-спектрометрических измерений концентраций НСОЖ необходима высокая степень ее экстракции с фильтра АФА-ХА. Для ее установления фиксированный объем раствора НСОЖ известной концентрации наносили на фильтр АФА-ХА, который помещали в четыреххлористый углерод, а для ускорения процесса экстракции аналита использовали ультразвуковую баню. Было установлено, что в этих условиях степень экстракции НСОЖ с фильтра АФА-ХА в течение 10 минут составляет более $99 \pm 1\%$.

ИК-спектрометрическое определение НСОЖ в сжатом технологическом воздухе. Для оценки возможности ИК-спектрометрического определения НСОЖ в сжатом технологическом воздухе проводили оптимизацию условий определения аналита, позволяющих его детектирование в

области ПДК для аэрозолей и паров масел в сжатом воздухе 2 и 3 класса, наиболее часто используемые на предприятиях (40–400 мг/л).

В стандартизированных методиках определения масел в сжатом воздухе в качестве стандартного раствора рекомендуется использовать свежее масло, заправляемое в компрессор [3–5, 14]. Этот прием нами также был применен при изучении зависимости аналитического сигнала от концентрации НСОЖ при ее ИК-спектрометрическом определении при 1100 и 2950 см^{-1} . Данная зависимость линейна в диапазоне концентраций НСОЖ 250–10000 мг/л при 1100 см^{-1} (рис. 6).

Из полученных данных нами были рассчитаны пределы обнаружения и количественного определения НСОЖ: при 1100 см^{-1} они составили 70 и 139 мг/л, а 2925 см^{-1} – 302 и 604 мг/л, соответственно. Более высокие значения изученных характеристик при 2925 см^{-1} связаны, по-видимому, с тем, что в этих условиях поглощают другие соединения, которые могут влиять на точностные характеристики определения аналита. С учетом полученных результатов можно заключить, что ИК-спектрометрическое определение НСОЖ при 1100 см^{-1} наиболее предпочтительно, нежели используемая в стандартизированных методиках определения масел область при 2925 см^{-1} . В исследуемой области ИК-поглощение при 1100 см^{-1} характерно для первичных спиртов, простых и сложных эфиров, составляющих основу НСОЖ [23–24]. В случае химической стабильности этих соединений можно предположить, что градуировочная зависимость аналитического сигнала от концентрации при 1100 см^{-1} бу-

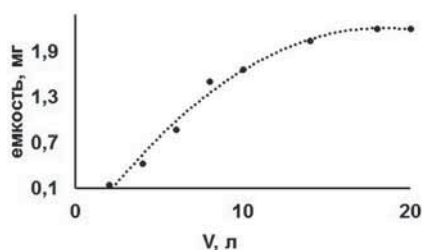


Рис. 5. Зависимость емкости фильтра АФА-ХА от объема аспирированного воздуха V, л

Fig. 5. Dependence of the capacity of the AFA-HA filter on the volume of aspirated air V, l

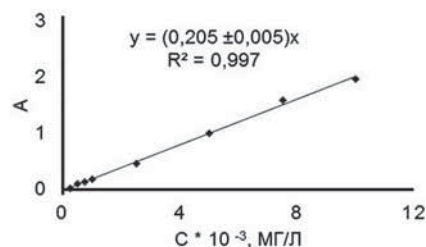
Рис. 6. Зависимость аналитического сигнала от концентрации НСОЖ при 1100 см^{-1} : A – оптическая плотность, C – концентрация НСОЖ, в мг/лFig. 6. Dependence of the analytical signal on the concentration of NSCL at 1100 см^{-1} : A – optical density, C – concentration of NSCL, in mg / l

Таблица 3

Аналитические сигналы свежей и отработанной НСОЖ различных концентраций в сжатом технологическом воздухе при 1100 см⁻¹

Table 3

Analytical signals of fresh and spent NSCL of various concentrations in compressed process air at 1100 cm⁻¹

С _{НСОЖ} , мг/л	АС _{НСОЖ}	АС _{отработанной НСОЖ}
250	0.020 ± 0.006	0.025 ± 0.007
500	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.02
750	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01
1000	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.02
2500	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1
5000	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.1
7500	1.7 ± 0.2	1.6 ± 0.1
10000	2.3 ± 0.4	1.9 ± 0.4

дет стабильна на протяжении всей работы НСОЖ. Для подтверждения данного посыла нами изучена стабильность аналитических сигналов свежей и отработанной НСОЖ различных концентраций в сжатом технологическом воздухе при 1100 см⁻¹. Как видно, разница в аналитических сигналах компонентов находится на уровне погрешности измерений (табл. 3). Поэтому для проведения градуировки не требуется отбирать НСОЖ из компрессора непосредственно перед каждым анализом, а можно использовать образец из коллекции, заранее отобранной при заправке компрессора НСОЖ.

Таким образом, ИК-спектрометрическое определение НСОЖ в сжатом технологическом воздухе при 1100 см⁻¹ более чувствительно, позволяет существенно упростить и сократить время анализа, а также отсутствует надобность остановки технологического процесса с разборкой компрессора и сливом НСОЖ перед каждым ее определением.

Анализ реального образца

Предложенная схема определения НСОЖ в сжатом технологическом воздухе была апробирована на реальном образце, полученном с предприятия ООО «Газпром трансгаз Краснодар». Местом отбора проб был выход с ресивера коллектора воздуха КИП КСВ УПГТ-2, объем аппаратного сжатого воздуха, отобранного на фильтр АФА-ХА для анализа, составил 1.5 м³, скорость аспирирования 0.4 м³/ч, объем полученного экстракта – 5 см³. Измерение концентрации НСОЖ проводили на ИК-Фурье-спектрометре IR-Prestige-21 «SHIMADZU». Концентрацию НСОЖ рассчитывали по заранее полученной градуировочной зависимости между концентрацией НСОЖ и аналитическим сигналом. Среднее содержание НСОЖ в сжатом технологическом воздухе по трем параллельным измерениям составило 0.75 ± 0.04 мг/м³. Время анализа, включая пробоотбор, составило чуть больше 4 часов. Приведенные данные исследований свидетельствуют о том, что использование фильтра АФА-ХА при отборе проб

сжатого воздуха на содержание НСОЖ позволяет избежать потерь аналита, а ИК-спектрометрический метод определения при 1100 см⁻¹ позволяет проводить экспрессное определение НСОЖ в сжатом воздухе с учетом требований ПДК.

Благодарности

Исследования проводились в рамках проекта № 4.2612.2017/ПЧ Минобрнауки РФ с использованием научного оборудования ЦКП «Эколого-аналитический центр» Кубанского госуниверситета, уникальный идентификатор RFMEFI59317X0008.

Acknowledgements

The research was carried out within the framework of the project of The Ministry of Education of the Russian Federation (Project № 4.2612.2017/ПЧ) using the scientific equipment of the TsKP Ekologo analiticheskii Tsentr (Environmental Analysis Center) of the Kuban State University, the unique identifier RFMEFI59317X0008.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ ИСО 8573–1–2005. Загрязнения и классы чистоты. М.: Стандартинформ, 2005. 11 с.
- Патент РФ № 2092833. МПК G01N 30/02 (1995.01). Способ определения примесей масла в газах с помощью индикаторных трубок / Г.А. Доминикян, В.С.Бакулин, В.В. Зубрилов, Ф.Б. Байбаков, В.В. Мордовин (РФ). № 93053775/25; заявл. 29.11.1993; опубл. 10.10.1997, Бюл. № 28. 4 с.
- ГОСТ ИСО 8573–5–2006. Сжатый воздух. Часть 5. Методы контроля содержания паров масла и органических растворителей. М.: Стандартинформ, 2007. 13 с.
- ГОСТ Р ИСО 8573–2–2005. Сжатый воздух. Часть 2. Методы контроля содержания масел в виде аэрозолей. М.: Стандартинформ, 2006. 25 с.
- СТП 2082–656–2007. Люминесцентный метод определения содержания минеральных масел. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/437091397> / сайт фирмы «Техэксперт» (дата обращения 15.01.2017).
- De Nola G., Kibby J., Mazurek W. Determination of ortho-cresyl phosphate isomers of tricresyl phosphate used in aircraft turbine engine oils by gas chromatography and mass spectrometry // Journal of Chromatography A. 2008. V. 1200, № 2. P. 211–216.
- Determination of airborne trialkyl and triaryl organophosphates originating from hydraulic fluids by gas chromatography–mass spectrometry: Development of methodology for combined aerosol and vapor sampling / K. Solbua [et al.] // Journal of Chromatography A. 2007. V.1161, № 1-2. P. 275–283.
- Woelfenden E. Sorbent-based sampling methods for volatile and semi-volatile organic compounds in air Part 1: Sorbent-based air monitoring options // Journal of Chromatography A. 2010. V. 1217, № 16. P. 2674–2684.
- Mineral Oil Metal Working Fluids (MWFs) – D development of Practical Criteria for Mist Sampling / A.T. Simpson [et al.] // Ann. Occup. Hyg.. 2000. V. 44, № 3. P. 165-172.
- Fangmin H., Rosset R. Isolation of polybutenylsuccinimide-type dispersant from monograde and multigrade lubricating oils by classical liquid-adsorption chromatography

on a Florisil column // *Analytica Chimica Acta*. 1995. V. 314, № 3. P.161-167.

11. Liquid chromatographic determination of base oil composition and content in lubricating oils containing dispersants of the polybutenylsuccinimide type / P. Sassiati [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 1995. V. 306, № 1. P.73-79.

12. Quantification of detergent-dispersant additives in gasoline by size-exclusion chromatography and thermogravimetry / A. Pereira Franco dos Santos [et al.] // *Fuel*. 2017. V.194. P.166-170.

13. МУ 4833 – 88. Фотометрическое измерение концентрации аэрозоля масел в воздухе рабочей зоны. Выпуск 24. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора РФ, 1994. С.23-29.

14. ГОСТ 28326.3-89. Межгосударственный стандарт. Аммиак жидкий технический. Определение массовой концентрации масла методом инфракрасной спектроскопии. М.: Стандартинформ, 1990. 6с.

15. Determination of calcium, magnesium and zinc in lubricating oils by flame atomic absorption spectrometry using a three-component solution / A.V. Zmozinski [et al.] // *Talanta*. 2010. V. 83, № 2. P. 637-643.

16. Determination of aluminum by electrothermal atomic absorption spectroscopy in lubricating oils emulsified in a sequential injection analysis system / J. L. Burguera [et al.] // *Talanta*. 2005. V. 68, № 2. P. 179-186.

17. Green approaches to determine metals in lubricating oils by electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS) / S. Carballo [et al.] // *Microchemical Journal*. 2013. V. 108. P. 74-80.

18. Multielement determination of major elements in polymer additives by microwave induced plasma atomic emission spectrometry after microwave digestion / K. Jankowski [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 2001. V. 440, № 2. P. 215-221.

19. Разработка ИК-спектроскопической методики определения антиокислительной присадки агидол-1 в растворах, используемых для введения её в дизельное топливо / Е.В. Казьмина [и др.] // *Аналитика и контроль*. 2013. Т. 17, № 3. С. 345-350.

20. Gas-particle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs and PCDD/Fs in the atmosphere of Athens (Greece) / M. Mandalakis [et al.] // *Atmospheric Environment*. 2002. V. 36, № 25. P.4023-4035.

21. Bertoni G., Tappa R., Cecinato A. Environmental Monitoring of Semi-Volatile Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Means of Diffusive Sampling Devices and GC-MS Analysis // *Chromatographia*. 2001. V. 53, № SPEC. P. S312-S316.

22. Re-Poppi, N., Santiago-Silva M. Polycyclic aromatic hydrocarbons and other selected organic compounds in ambient air of Campo Grande City, Brazil // *Atmospheric Environment*. 2005. V. 39, № 16. P.2839-2850.

23. Patent USA № 9453179 ID 49260056. Lubricating oil composition for air compressors / Sato, Tokue. PCT / JP2013 / 058839. заявл. 26.09.2014 опублик. 19.02.2015 **APN № 000013**. 13.p.

24. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектроскопическая идентификация органических соединений.: пер. с англ. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2011. 557 с.

REFERENCES

1. GOST ISO 8573-1-2005. *Zagrizneniia i klassy chistoty* [State Standard 8573-1-2005 Compressed air. Part 1: Contaminants and purity classes (IDT)]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 11 p. (in Russian).

2. Dominikian G.A., e.a. *Sposob opredeleniia primesei masla v gazakh s pomoshch'iu indikatornykh trubok* [Method for determination of oil impurities in gases by means of indicator tubes]. Patent RF, no. 2092833, 1997 (in Russian).

3. GOST ISO 8573-5-2006. *Szhatyi vozdukh. Chast' 5. Metody kontrolya soderzhaniia parov masla i organicheskikh rastvoritelei* [State Standard 8573-5-2006. Compressed air. Part 5. Methods for controlling the vapor content of oils and organic solvents]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 13 p. (in Russian).

4. GOST R ISO 8573-2-2005. *Szhatyi vozdukh. Chast' 2. Metody kontrolya soderzhaniia masel v vide aerorozlei* [State Standard 8573-2-2005. Compressed air. Part 2. Test methods for aerosol oil content]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 25 p. (in Russian).

5. STP 2082-656-2007. *Liuminescentnyi metod opredeleniia soderzhaniia mineral'nykh masel* [State Standard 2082-656-2007. Luminescent method for determining mineral oils]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/437091397> (accessed 15 January 2017) (in Russian).

6. De Nola G., Kibby J., Mazurek W. Determination of ortho-cresyl phosphate isomers of tricresyl phosphate used in aircraft turbine engine oils by gas chromatography and mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 2008, vol. 1200, no.2, pp. 211-216. doi:10.1016/j.chroma.2008.05.035.

7. Solbu K., Thorud S., Hersson M., Overbo S., Ellingsen D.G., Lundanes E., Molander P. Determination of airborne trialkyl and triaryl organophosphates originating from hydraulic fluids by gas chromatography-mass spectrometry: Development of methodology for combined aerosol and vapor sampling. *Journal of Chromatography A*, 2007, vol. 1161, no. 1-2, pp. 275-283. doi:10.1016/j.chroma.2007.05.087.

8. Woolfenden E. Sorbent-based sampling methods for volatile and semi-volatile organic compounds in air Part 1: Sorbent-based air monitoring options. *Journal of Chromatography A*, 2010, vol. 1217, no. 16, pp. 2674-2684. doi:10.1016/j.chroma.2009.12.042.

9. Simpson A.T., Groves J. A., Unwin J., Piney M. Mineral Oil Metal Working Fluids (MWFs) – D development of Practical Criteria for Mist Sampling. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2000, vol. 44, no. 3, pp. 165-172.

10. Fangmin H., Robert R. Isolation of polybutenylsuccinimide-type dispersant from monograde and multigrade lubricating oils by classical liquid-adsorption chromatography on a Florisil column. *Analytica Chimica Acta*, 1995, vol. 314, no. 3, pp.161-167. doi: 10.1016/0003-2670(95)00267-4.

11. Sassiati P., Machtalere G., Hui F., Kolodziejczyk H., Rosset R. Liquid chromatographic determination of base oil composition and content in lubricating oils containing dispersants of the polybutenylsuccinimide type. *Analytica Chimica Acta*, 1995, vol. 306, no. 1, pp. 73-79. doi: 10.1016/0003-2670(94)00663-7.

12. Franco dos Santos A.P., Kropfda K., Dwecka S., Antoniod'Avila L., Quantification of detergent-dispersant additives in gasoline by size-exclusion chromatography and thermogravimetry. *Fuel*, 2017, vol. 194, pp. 166-170. doi: 10.1016/j.fuel.2017.01.009.

13. МУ 4833 – 88. *Fotometricheskoe izmerenie kontsentratsii aerorozlia masel v vozdukhke rabochei zony vypusk 24*. [Photometric measurement of the concentration of aerosol of oils in the air of the working area]. Moscow, Informatsionno-izdatel'skii tsentr goskomsanepidnadzora RF Publ., 1994. pp. 23-29 (in Russian).

14. GOST 28326.3-89. *Mezhgosudarstvennyi standart. Ammiak zhidkii tekhnicheskii. Opredelenie massovoi kontsentratsii masla metodom infrakrasnoi spektrometrii* [State Standard 28326.3-89. Interstate standard. Ammonia liquid technical. De-

termination of mass concentration of oil by infrared spectrometry]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 6 p. (in Russian).

15. Zmozinski A.V., Maria A.J., Vale G.R., Silva M.M. Determination of calcium, magnesium and zinc in lubricating oils by flame atomic absorption spectrometry using a three-component solution. *Talanta*, 2010, vol. 83, no. 2, pp. 637-643. doi: 10.1016/j.talanta.2010.10.013.

16. Burguera J. L., Burguera M., Fnton R.E., Jean-Loui Salager, Arandia M.A., Rondon C., Carrero P., Pena Y.P, Brunetto R., Galignani M. Determination of aluminum by electrothermal atomic absorption spectroscopy in lubricating oils emulsified in a sequential injection analysis system. *Talanta*, 2005, vol. 68, no. 2, pp. 179-186. doi: 10.1016/j.talanta.2005.06.014.

17. Carballo S., Teran J., Soto R.M., Carlosena A., Andrade J.M., Prada D. Green approaches to determine metals in lubricating oils by electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS). *Microchemical Journal*, 2013, vol. 108, pp. 74-80. doi: 10.1016/j.microc.2013.01.002.

18. Jankowska K., Jerzak A., Sernicka-Poluchowicz A., Synoradzki L. Multielement determination of major elements in polymer additives by microwave induced plasma atomic emission spectrometry after microwave digestion. *Analytica Chimica Acta*, 2001, vol. 440, no. 2, pp. 215-221. doi: 10.1016/S0003-2670(01)01062-5.

19. Kaz'mina E. V., Smagunova A. N., Butina N. P., Korzhova E. N. [Development of IR spectrometric method for deter-

mination of antioxidant additive agidol-1 in solutions used for its introduction into diesel fuel]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2013, vol. 17, no. 3, pp. 345-350. doi: 10.15826/analitika.2013.17.3.012 (in Russian).

20. Mandalakis M., Tsapakis M., Tsoga A., Stephanou E.G. Gas-particle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs and PCDD/Fs in the atmosphere of Athens (Greece). *Atmospheric Environment*, 2002, vol. 36, no. 25, pp.4023-4035. doi: 10.1016/S1352-2310(02)00362-X.

21. Bertoni G., Tappa R., Cecinato A. Environmental Monitoring of Semi-Volatile Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Means of Diffusive Sampling Devices and GC-MS Analysis. *Chromatographia*, 2001, vol. 53, no. SPEC, pp. S312-S316.

22. Re-Poppi N., Santiago-Silva M. Polycyclic aromatic hydrocarbons and other selected organic compounds in ambient air of Campo Grande City, Brazil. *Atmospheric Environment*, 2005, vol. 39, no. 16, pp. 2839-2850. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.10.006

23. Sato, e.a. Lubricating oil composition for air compressors. Patent USA, no. 9453179, 2013.

24. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric identification of organic compounds* New York, John Wiley & Sons, Inc., 2005. 550 p. (Russ. ed.: Sil'verstein R.M., Vebster F. W., Kiml D.J. *Spektrometricheskaja identifikatsiia organicheskikh soedinenii* Moscow, Binom. Laboratoriia znanii Publ., 2011. 557 p.).